

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Aplikovaná a krajinná ekologie



PaedDr. Jiří Šafránek

Expozice dětí atmosférickému aerosolu ve školních tělocvičnách

Exposure of children to atmospheric aerosol in school gyms

Disertační práce

Školitel: prof. RNDr. Martin Braniš, CSc.

Praha, 2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne

.....

Jiří Šafránek

Poděkování

Děkuji mé domovské Fakultě tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy za možnost absolvovat doktorské studium na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy pod vedením prof. RNDr. Martina Braniše CSc. Panu profesorovi velmi děkuji za odborné vedení, praktické rady a pomoc při psaní práce. Děkuji také mé rodině za nezištnou podporu a trpělivost v tomto mém běhu na dlouhou trať. Dík patří také základním školám, které poskytly své tělocvičny a žáky k provedení studie.

ABSTRAKT

Výsledky výzkumu zaměřeného na vnitřní prostředí škol dokazují, že jsou to budovy s vysokými úrovněmi koncentrací aerosolu (PM). Jde především o školy v místech s hustým automobilovým provozem a v průmyslových oblastech. Negativní vliv expozice aerosolu na zdraví dospívající generace je rovněž dokumentován v řadě studií. Málo pozornosti bylo ale dosud věnováno mikroprostředí školních tělocvičen, kde má dynamika aerosolu svá specifika související s různorodostí tohoto prostředí a v ní prováděných lidských aktivit. Vlivem zvýšené plicní ventilace mohou expozice cvičících dosahovat hodnot s negativním dopadem na jejich zdraví.

Velikostně rozlišené koncentrace aerosolu byly měřeny ve třech základních školách Prahy. V údolní poloze vysoce dopravně zatíženého centra města, na náhorní rovině dopravně středně zatíženého okraje města a na jihozápadním předměstí v lokalitě příměstského bydlení blízkého přírodě a dopravně málo zatížené. Koncentrace aerosolu byly měřeny současně v přirozeně větraných tělocvičnách a ve venkovním prostředí škol dvěma páry monitorů. Fotometrem DusTrak a gravimetricky, pětistupňovým kaskádovým impaktorem Personal Cascade Impactor Sampler. V letech 2005 až 2009 proběhlo na školách dohromady dvacet 7-11 denních kampaní v celkové délce 177 dnů. Metodami Scanning electron microscopy (SEM) a rentgenové spektrální analýzy Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDS) byly na dvou školách (centrum města a předměstí) také studovány hrubé částice ($PM_{10-2.5}$) zachycené na impakčních destičkách fotometrů. V rámci jedné kampaně byla současně na dvou školách (centrum a okraj města) při tělesné výchově sledována fyzická zátěž pomocí záznamu srdeční frekvence. Skupina 32 žáků páté až osmé třídy byla v rámci výzkumu nejdříve podrobena laboratornímu zátěžovému vyšetření.

Vnitřní koncentrace $PM_{2.5}$ v tělocvičně překračovaly doporučené limity Světové zdravotnické organizace. Průměrná 24 hodinová koncentrace $PM_{2.5}$ se příliš nelišila od venkovních hodnot získaných stejným způsobem, korelační koeficient ($r=0,91$). Při porovnávání venkovní a vnitřní hodnoty aerosolu rostl (r) se snižujícím s aerodynamickým průměrem PM ($r = 0.32$ až 0.87), což naznačuje vyšší infiltraci jemných a kvazi-jemných částic do vnitřního prostředí. Hrubá frakce ($PM_{2.5} - PM_{10}$) byla spojena s počtem cvičících žáků (korelační koeficient $0,77$), dokazuje, že lidská činnost je jejím hlavním zdrojem. Vnitřní koncentrace hrubého aerosolu vzrostly během dnů cvičení několikanásobně proti venkovním hodnotám. Elektronová mikroskopie ukázala, že kromě četných anorganických částic, tvoří velkou část prachu organické zbytky, jako různé typy vláken a plísň, úlomky roztočů a především kožní šupiny, které tvoří hlavní část organické složky prachu v tělocvičnách. Průměrný násobek plicní ventilace při cvičení proti klidovým hodnotám byl z hodnot laboratorního vyšetření a z hodnot SF v hodinách TV vypočten na 3,8 (max. = 5,4; min. = 2,7; směrodatná odchylka 0,72).

Z výsledků vyplývá, že školní tělocvičny jsou vnitřním mikroprostředím s vysokou koncentrací především hrubých částic aerosolu, který může vystavit cvičící děti krátkodobě vysoké expozici znečištění přesahující i několikanásobně hygienické limity pro vnitřní prostředí. Čistotě vnitřního prostředí tělocvičen není věnována dostatečná pozornost a v jejím hodnocení se nelze řídit požadavky na ostatní prostory škol. Vedle čistoty tělocvičny je významnou proměnnou fyzická zátěž a charakter činností v hodinách TV, které by měly být přizpůsobeny podmínkám v tělocvičně a stavu venkovního ovzduší v okolí školy.

Klíčová slova: základní školy, tělocvičny, kvalita ovzduší, aerosol, expozice dětí,

ABSTRACT

Research into indoor environment has shown that schools are buildings with high-levels of particulate matter concentrations. This is especially the case of schools situated in high-density traffic or in industrial areas. Several studies have also proven the impact of PM on the teenage generation's health. So far no detailed study has been performed to cover the environment of school gyms where the PM dynamics are different from other indoor microenvironments. This different dynamics relates to the gym environment heterogeneity and to the human activities taking place in it. Due to higher pulmonary ventilation, the exposure of the exercising pupils can reach levels possibly noxious to their health.

Size resolved mass concentrations of aerosol were measured in three elementary Schools in Prague. One school was situated in the city centre with high traffic density. The second school was situated on a plateau on the periphery with a medium level traffic. The third school can be found in Prague south-western suburbia, in an open landscape, with low traffic density. PM concentrations were measured simultaneously in naturally ventilated gyms and outdoors adjacent to the particular school building. Two pairs of monitors were used throughout the study: A DustTrak Aerosol Monitor and a Personal Cascade Impactor Sampler. In total, twenty monitoring campaigns, each 7-11 days long, were carried out at the three schools from 2005 to 2009. The total duration of the measurements amounts to 177 days. In two schools (central and suburban) the coarse particulate matter (PM_{10-2.5}) deposited on the impaction plates of the photometers was also analyzed via Scanning electron microscopy and Energy Dispersive X-ray Spectrometry. During one campaign carried out simultaneously in the central and peripheral schools, the pupils' heart rates were measured during physical education classes. Prior to this measurements a panel of 32 pupils grades 5-8 (aged 10-15) took part in a laboratory stress examination to obtain detailed information about their relationship between the pulmonary ventilation and heart rate characteristics.

The PM indoor concentrations in the gym exceeded limits recommended by World Health Organization. The average 24hour PM_{2.5} indoor concentration did not differ significantly from the data outdoor values with the correlation coefficient reaching 0.91. When comparing indoor and outdoor aerosol level, the correlation coefficient increased with decreasing aerodynamic diameter of the aerosol monitored ($r = 0.32$ to 0.87). This indicates a higher infiltration of fine and quasi-ultrafine particles in the indoor environment. Coarse fraction (PM_{2.5} - PM₁₀) was related to the number of exercising pupils ($r = 0.77$). The results show that human activity is its main source. In comparison to outside values, the indoor concentration of coarse aerosol increased several times during physical education days. Scanning electron microscopy showed that apart from numerous inorganic particles, the aerosol is composed mainly from organic residues such as various types of fibres and fungi, mite debris and most of all skin scales, which are the major part of organic aerosol in gyms. Based on the laboratory stress tests results the estimated ratio between the pulmonary ventilation of exercising and resting pupils was 3.8 (max. = 5.4; min. = 2.7; standard deviation 0.72) showing that physical exercise may cause a 4-fold increase in exposure to inhaled aerosol.

We can conclude that school gyms are indoor microenvironments with high concentration of (mostly coarse) aerosol particles and that exercise may result in exposure exceeding several times the recommended hygienic limits. Cleanliness, type and volume of the physical activity during physical education classes, health conditions of pupils as well as the sources of pollution outside schools are important factors which should be taken into account in education planning.

Key words : primary schools, gyms, air quality, aerosol exposure of children

OBSAH

- 1 ÚVOD
- 2 CÍLE PRÁCE
- 3 METODIKA
- 4 VÝSLEDKY A DISKUZE
- 5 ZÁVĚR
- 6 POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE
- 7 PŘÍLOHY

- 1 BRANIŠ, M., ŠAFRÁNEK, J., HYTYCHOVÁ, A. Exposure of children to airborne particulate matter of different size fractions during indoor physical education at school. *Building and Environment*. 2009, 44(6), 1246-1252.
- 2 BRANIŠ, M., ŠAFRÁNEK, J., HYTYCHOVÁ, A. Indoor and outdoor sources of size-resolved mass concentration of particulate matter in a school gym—implications for exposure of exercising children. *Environmental Science and Pollution Research*. 2011, 18(4), 598-609.
- 3 BRANIŠ, M., ŠAFRÁNEK, J. Characterization of coarse particulate matter in school gyms. *Environmental Research*. 2011, 111(4), 485-91.
- 4 ŠAFRÁNEK, J., BRANIŠ, M., HÁJEK, M. Objemové hodnoty plicní ventilace žáků a expozice aerosolu při hodinách tělesné výchovy. – připraveno k publikaci

1 ÚVOD

Bylo mnohokrát prokázáno, že ovzduší znečištěné částicemi prachu ovlivňuje negativně zdraví člověka (Pope a Dockery, 2006). Do těla člověka proniká aerosol permanentně během dýchání a podle svého tvaru a velikosti prochází různě hluboko do dýchací soustavy. Součástí aerosolu jsou ve znečištěném vzduchu toxické a dráždivé látky. Podle hloubky průniku aerosolu do dýchacích cest, jeho toxicity, koncentrace a délky působení, mohou mít zdravotní problémy různý charakter. Výzkumníci docházejí v posledních letech k závěrům, že nelze s jistotou tvrdit, které velikosti respirabilních částic aerosolu jsou nebezpečnější. Předpokládá se, že jemné frakce aerosolu, které pronikají do plicních sklípků a deponují se v nich, jsou příčinou kardiovaskulárních problémů a rakoviny plic, zatímco hrubý aerosol, který je zachycován ve vyšších patrech dýchací soustavy, je příčinou astmatických problémů a různých onemocnění horních cest dýchacích.

Velmi citlivou věkovou skupinou jsou na toto znečištění děti (Chalupa et al., 2004). Jedním z vnitřních prostředí, kde děti tráví velkou část dne, je škola. Čistota ovzduší a hodnota mikroklimatických faktorů v jejich prostorách má významný vliv na dětský organismus. Specifickým prostředím škol jsou pak tělocvičny, sportovní haly a sály pro tělesnou výchovu. V tomto prostředí se děti mohou fyzicky více zatěžovat než ve třídách. Podle intenzity a charakteru cvičení dochází ke zvýšení plicní ventilace. Hodina intenzivního pohybu v prostředí tělocvičny znečištěné aerosolem tak může vést ke stejné nebo i vyšší expozici, než několikahodinové sezení ve třídě. Je tedy nesporné, že z těchto důvodů vyžaduje prostředí, kde děti cvičí a více se fyzicky zatěžují, zvláštní pozornost odpovědných osob školy i samotných učitelů.

Tato práce je koncipována jako soubor čtyř publikací, které se zabývají různými aspekty expozice aerosolu u školních dětí. Sleduje různé velikostní frakce a jejich koncentrace během cvičení v tělocvičně i v souvislosti s aktivitou osob. Hledá hlavní zdroje prachu ve vnitřním, ale i venkovním prostředí. Zkoumá některé důležité charakteristiky složení aerosolu v tělocvičnách. Všechny publikované články spojují otázky související s expozicí dětí aerosolu ve třech různých lokalitách Prahy a s možnými zdravotními důsledky expozice na zdraví cvičenců. Závěrečný text se pak snaží ověřit tuto expozici na základě odhadu plicní ventilace u skupiny dětí při povinné hodině tělesné výchovy. Hodnoty expozice posuzuje v kontextu s doporučenými limity pro ochranu zdraví.

Na konferenci ministrů životního prostředí a zdravotnictví Evropské unie (EU) v roce 2004 na téma „Budoucnost pro naše děti“ byl přijat dokument „*The Children's Environment and Health Action Plan for Europe*“, který se ve dvou bodech ze čtyř zásadně dotýká našeho

tématu. 1. Zajistit dětem ochranu před úrazy a přiměřenou fyzickou aktivitu. 2. Zajistit čisté venkovní i vnitřní ovzduší (WHO, 2006). Dokument Pokyny EU k fyzické aktivitě, který podepsali ministři tělovýchovy členských zemí, říká konkrétně, že děti školního věku by měly denně vykonávat 60 minut nebo více středně až vysoce intenzivní fyzické aktivity ve formě, která je vývojově vhodná, přináší jim radost a zahrnuje rozmanité činnosti (Andersen et al., 2008).

Pravidelný tělesný pohyb o intenzitě, která rozvíjí nebo alespoň udržuje zdatnost kardiovaskulárního systému a pohybového aparátu je doporučován k zajištění dobrého zdravotního stavu obecně ve všech věkových skupinách (Bunc, 1998). Pro děti tato potřeba platí dvojnásob vzhledem k potřebě jejich správného tělesného i duševního vývoje. V současné době tráví děti stále více volného času u počítače a celkově v posledních 10 letech narůstá čas strávený sedavými činnostmi. Přibližně 10% mladých lidí do 19 let nemá pravděpodobně jinou pohybovou činnost než povinnou tělesnou výchovu ve škole. Dalších 25% ji má velmi nepravidelnou (Rychtecký, 2010). Ve věkové skupině 13 let má 2,6 % dětí nadváhu a 5,7% obezitu (Šamánek a Urbanová, 2008). Přitom je zřejmé, že pohybová aktivita v dětském věku nejlépe predikuje problémy s obezitou v dospělosti (Matoulek et al., 2010). Z těchto důvodů by posílání tělesné výchovy (TV) mělo směřovat od u nás v minulosti akcentovaného výkonnostního charakteru k převážně výchovně-zdravotnímu. Tento trend je již zachycen ve standardech základního vzdělávání (MŠMT ČR, 1995). Vzhledem k vytčeným cílům tělesné výchovy a celkovému trendu znečišťování ovzduší je nutné podrobněji sledovat prostředí, ve kterém se děti více fyzicky zatěžují, protože v konečném důsledku může mít dobrá snaha nepříznivý vliv na jejich zdraví (Scarlett, 1996). Děti jsou populační skupinou citlivější na znečištění ovzduší než dospělí. Jednou z hlavních příčin je, že jejich metabolismus pracuje rychleji, než u dospělých (Chalupa et al., 2004). Zvýšená fyzická aktivita v prostředí s vysokými hodnotami koncentrace aerosolu může zvýšit riziko onemocnění plic a poškození kardiovaskulární soustavy, protože celková depozice částic prachu se zvyšuje v závislosti na minutové ventilaci a násobí se podle intenzity cvičení proti klidovým hodnotám (Daigle et al., 2003; Gauderman et al., 2004; Pope a Dockery, 2006; Alexis et al., 2006 a další).

V urbánním prostředí je hlavním zdrojem znečištění ovzduší automobilová doprava, průmyslové provozy a v menších sídlech nekvalitní paliva spalovaná v lokálních topeništích. Mnohé školy nacházející se v blízkosti zdrojů znečištění vykazují ve svém vnitřním prostředí hodnoty překračující limity doporučené Světovou zdravotnickou organizací (WHO), (Diapouli et al., 2007; Kuruvilla et al., 2007). V předchozích výzkumech prováděných

v univerzitní přednáškové místnosti Braniš et al. (2005) ukázali, že mezi vnitřními a venkovními koncentracemi aerosolu, je vysoká korelace zejména pro částice o malém aerodynamickém průměru ($\text{Particulate Matter}_{2,5}$ ($\text{PM}_{2,5}$)). Zároveň při velké koncentraci lidí stoupá i koncentrace hrubého aerosolu. K podobným výsledkům došli i Fromme et al. (2007), podle nichž vysoké hodnoty koncentrací aerosolu ve školách jsou (mimo venkovní zdroje) často spojeny s lidskou činností a nedostatečným úklidem, který neeliminuje větší část aerosolu deponovaného v prostoru, kde se žáci pohybují. Nečetné práce také naznačují, že mikroprostředím, v němž jsou zjišťovány vyšší koncentrace prachu, jsou tělocvičny (Ferro et al., 2004; Goyal a Khare, 2009 a další). Vysoká infiltrace škodlivin (zejména jemného aerosolu) zvenčí a resuspenze hrubého prachu uvnitř do značné míry zpochybňují obvyklá doporučení přesouvat v době nevyhovujících venkovních podmínek kvality ovzduší tělesnou výchovu do tělocvičny.

Hrubé a jemné částice aerosolu se liší nejen velikostí, ale také dalšími charakteristikami, jako je složení, doba setrvání ve vzduchu, časová a prostorová proměnlivost, mechanismy vzniku, typy zdrojů a vlivy na zdraví. Vzhledem k těmto rozdílům, se jemné a hrubé částice považují za samostatné skupiny znečišťujících látek a měly by být v epidemiologických studiích měřeny a zpracovávány odděleně (Wilson a Suh, 1997). Podrobná analýza různých velikostních frakcí aerosolu je nutná i vzhledem k problematice odlišení a identifikace zdrojů původem z vnitřního a vnějšího prostředí (Poupard et al., 2005; van Dijken et al., 2006). Uvedené výsledky předchozích výzkumů naznačují, že větší množství prachu ve školních tělocvičnách může být zodpovědné za některé zdravotní problémy, včetně infekcí, alergií a nemocí dýchacích cest nejen díky množství, ale i složení a velikosti částic (Smedje a Norback, 2001; Tortolero et al., 2002; Fox et al., 2005). Na základě výsledků jejich prací můžeme předpokládat, že vysoké koncentrace aerosolu naměřené v tělocvičnách mohou s násobkem klidové plicní ventilace při cvičení přispět k nežádoucím účinkům na zdraví u citlivých jedinců.

Pro přesnější posouzení expozice aerosolu je třeba znát nejen jeho fyzikální a chemické charakteristiky, ale i množství vzduchu a způsob dýchání hodnoceného subjektu. Měření reálných ventilačních parametrů člověka při cvičení je pro větší studie nákladné a obtížně proveditelné. Na obtížnost použití metod přímého měření ventilačních hodnot při cvičení poukázali Mc Cool a Paek (1993). Metody s dýchací maskou mají nepřesnosti způsobené jiným způsobem dýchání v masce a omezeními, které způsobuje samotná maska při cvičení. Metoda zjištění plicní ventilace z dechových objemů a frekvence dýchání snímající data z těla člověka je poměrně přesná, ale také velmi náročná na technické

vybavení. Jako nejdostupnější z metod a snadno použitelnou k odhadu plicní ventilace člověka při cvičení doporučují Mermier et al. (1993) metodu přepočtu SF na minutovou ventilaci (V_E). K zjištění hodnot objemu nadýchaného vzduchu použili regresní křivku vztahu mezi hodnotami SF a V_E . Potvrdili, že srdeční frekvenci lze použít, (byť ne zcela přesně), jako nepřímé hodnoty pro odhad plicní ventilace. Uvedení autoři též zjistili, že z hodnot SF lze odhadovat i typ dýchání. Při nižších hodnotách SF cvičící dýchá nosem a množství aerosolu, které projde do dolních cest dýchacích je menší, než při vyšších hodnotách SF, kdy dýchá ústy. Nepřesnosti predikce V_E z hodnot SF jsou dány rozdílným charakterem zátěže v laboratorním testu a v hodině tělesné výchovy. Ta se neskládá pouze ze stupňovaného zatížení v jedné pozici, jako při laboratorním testu. Kromě toho, že při hodině TV je zátěž intermitentní, žáci také často mění polohu celého těla, trupu, rukou, více zatěžují horní nebo dolní polovinu těla, podle toho, co je náplní cvičení. To je v laboratorních podmínkách neproveditelné. Samet et al. (1993) např. zjistili, že hodnoty V_E k SF jsou až o třetinu vyšší při zapojení horní poloviny těla. Problematikou stanovení minutové plicní ventilace z hodnot SF se zabýval také Heller (1993). Vycházel ze studie Seligera a Bartůňka (1976) a ověřovací práce Máčka a Máčkové (1996). Jím prezentované hodnoty jsou jediné, které přiřazují k věku a pohlaví hodnoty SF a V_E (viz tab. 1, příloha 4). Vedle násobku ventilace je důležitá také k ní vztažená náplň hodiny. Stratton (1997) zjišťoval SF na hodinách tělesné výchovy (TV) u souboru 177 britských školáků ve věku 9-15 let. Nejvyšší kardiovaskulární zátěž byla zjištěna v hodinách s kolektivní herní náplní. Za efektivní k podpoře kardiovaskulární zdatnosti považuje zátěž odpovídající 50% času ze cvičení v hodnotách SF nad 150 tepů za minutu. Návšnické a gymnastické hodiny nebyly z tohoto pohledu pro rozvoj kardiovaskulární soustavy efektivní. V jejich studii dosáhlo průměrné SF při hodině TV pouze 32,7% žáků. Fairclough a Stratton (2005) považují za rozhodující prvek v efektivitě fyzické zátěže hodiny intenzity (charakter) cvičení a čas využití hodiny tělesné výchovy. Heller (1980) a Seliger et al. (1980) experimentovali s náplní hodin a pouze tzv. intenzifikované hodiny TV, kdy žáci měli průměrné SF přes 150 tepů/min., pokládali za přínosné pro rozvoj kardiovaskulární zdatnosti. Wang et al. (2005) zjistili u portugalských dětí pouze 14,4 min. ze 45 min hodiny TV fyzickou zátěž s hodnotami SF nad 139 tepů/min.

Z výše uvedeného vyplývá, že chceme-li detailněji určit expozici atmosférickým škodlivinám (v našem případě aerosolu), je vedle hodnot znečištění ovzduší v prostorách, kde mají žáci absolvovat vyšší fyzické zatížení, potřeba zkoumat také jejich reálné hodnoty plicní ventilace.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce bylo zjistit hodnoty znečištění ovzduší aerosolem v tělocvičnách základních škol situovaných v charakteristických typech pražského prostředí a posoudit možnou expozici cvičících žáků ve vztahu k zdravotním limitům doporučeným pro vnitřní prostředí škol.

K naplnění cílů bylo třeba:

- Provést dlouhodobá měření různých velikostních frakcí aerosolu a mikroklimatických faktorů uvnitř tělocvičen i v bezprostřední blízkosti školy a pro srovnání získat ověřená a standardizovaná data ze stanic Automatického imisního monitoringu Českého hydrometeorologického ústavu (AIM).
- Porovnat naměřená data s podrobnými údaji o aktivitách v tělocvičnách a na základě toho zjistit, jaká je dynamika particulate matter (PM - aerosolu) v mikroprostředí tělocvičny a jaké jsou možné zdroje PM.
- Experimentálně na vybrané skupině žáků ověřit expozici aerosolu pomocí nepřímého zjištění plicní ventilace žáků během hodiny TV prostřednictvím měření srdeční frekvence při reálné hodině tělesné výchovy.

3 METODIKA

V období od prosince 2005 do srpna 2009 bylo uskutečněno dvacet měřicích kampaní 7 – 11 dní dlouhých, které zahrnovaly průřez všemi ročními obdobími. Celkem bylo realizováno 178 - 24 hodinových měření, 89 dní v centru města (z toho 63 dní, kdy se cvičilo), 42 dní na periferii (20) a 47 dní na předměstí (29). Při výběru škol pro výzkum hrály vedle podmínek emisního zatížení důležitou úlohu také orografické podmínky. Centrální část města leží v údolí podél řeky Vltavy. V této části je vysoká koncentrace škol, často se starými a malými tělocvičnami. Větší část města leží po obvodu Vltavské kotliny na svazích nebo přímo na tzv. vltavských terasách. Tyto náhorní plošiny leží v polohách o 100 – 180 m převyšujících hladinu řeky. Klimatické a meteorologické podmínky mezi těmito dvěma lokalitami vykazují významné rozdíly především v síle proudění vzduchu a také v teplotě a vlhkosti. Reliéf terénu hraje významnou roli i v zimních a letních inverzích. Proudění

vzduchu je důležité při rozptylu znečištění, které souvisí s dopravou ve městě (Braniš, 2009). Koncentrace automobilové dopravy ve městě má rovněž vliv i na vnitřní prostředí. Všechny tyto faktory nás vedly k výběru lokalit sledovaných škol ve třech charakteristických prostředích města (obr. 1). Měřicí kampaně probíhaly současně na více školách. Na školách v centru a na okraji města proběhlo na přelomu listopadu a prosince 2007 současně s měřením koncentrace aerosolu a mikroklimatických faktorů ještě měření srdeční frekvence žáků 5., 7. a 8. tříd těchto škol při hodině TV a tomu předcházející laboratorní zátěžové vyšetření. Přehled škol a kampaní:

Základní škola 1 (ZŠ1) v centru města – (obr. 2)

1. 30. 11. - 6. 12. 2005
2. 17. 1. - 26. 1. 2006
3. 17. 2. - 24. 2. 2006
4. 14. 3. - 23. 3. 2006
5. 19. 4. - 27. 4. 2006
6. 23. 5. - 31. 5. 2006
7. 19. 6. - 26. 6. 2006
8. 22. 8. - 29. 8. 2006
9. 26. 11. - 3. 12. 2007 – (29. 11. 2007 v dopoledních a poledních hodinách měřené hodiny se snímáním srdeční frekvence a záznamem průběhu hodiny při hodinách TV)
10. 2. 2. - 12. 2. 2009

Základní škola 2 (ZŠ2) na okraji města – (obr. 3)

1. 12. 3. - 25. 3. 2007
2. 2. 4. - 29. 4. 2007
3. 7. 5. - 15. 5. 2007
4. 29. 10. - 6. 11. 2007
5. 26. 11. - 3. 12. 2007 – (29. 11. 2007 v dopoledních a poledních hodinách měřené hodiny se snímáním srdeční frekvence a záznamem průběhu hodiny při hodinách TV)

Základní škola 3 (ZŠ3) na předměstí – (obr. 4)

1. 5. 12. - 12. 12. 2008
2. 2. 2. - 12. 2. 2009
3. 13. 3. - 20. 3. 2009
4. 20. 5. - 29. 5. 2009
5. 10. 8. - 18. 8. 2009

Pro pokrytí celého školního roku byly kampaně uskutečňovány v chladné i teplé části roku a kontrolně i o prázdninách.

Laboratorní vyšetření a sledování hodin TV

1. 11. 2007 žáci ZŠ2
8. 11. 2007 žáci ZŠ1

Obrázek 1: Umístění sledovaných škol



Zdroj: www.seznam.cz

Obrázek 2: ZŠ1 v centru města



Obrázek 3: ZŠ2 na okraji města



Obrázek 4: ZŠ3 na předměstí



Data o velikostních frakcích PM a jejich hmotnostních koncentracích jsme získávali prostřednictvím pětistupňového kaskádového impaktoru PCIS (Personal Cascade Impactor Sampler) gravimetrickou metodou. Kontinuálně probíhalo měření PM_{2,5} fotometrem TSI DustTrak 8520 (DT) v intervalu 5 min. Průběžně se také měřila integrovanou sondou s dataloggerem teplota a relativní vlhkost přístrojem Commeter D3121. Ve všech kampaních se měřilo současně uvnitř tělocvičny i venku totožnými sestavami přístrojů. Nulové hodnoty přístrojů byly kontrolovány a průtok vzduchu přes pumpy upravován při každé kampani. Průtok vzduchu bublinkovým průtokoměrem Gillibrator nebo suchým průtokoměrem Defender 530, u fotometru probíhala kontrola nastavení základních parametrů dle pokynů v manuálu k přístroji dodaného výrobcem. Aerosol byl zachycován v 5 stupních A až F (A: 2,5 - 10 µm, B: 1,0-2,5 µm, C: 0,5-1,0 µm, D: 0.25-0.5 µm a F: <0,25 µm) na dva různé typy teflonových (PTFE) filtrů (25 mm filtry pro A-D a 37 mm pro F). Koncentrace byly stanoveny gravimetricky, tj. vážením filtrů před a po odběru vzorků na vahách Mettler Toledo MX5 s přesností 1 µg. Váhy byly k odstranění elektrostatického náboje vybaveny ionizačním vysokonapětovým rámem Haug U-electrode ionizer (model PRX-U). Vnitřní DT, PCIS a integrovaný senzor na měření teploty a relativní vlhkosti (Commeter D3121) byly v ZŠ1 umístěny do výklenku okna utěsněného proti průniku venkovního vzduchu a chráněného drátěným pletivem směrem do tělocvičny, aby nedošlo k poškození míči a neoprávněnou manipulací. Čidla monitoru byla přibližně 2 m nad podlahou tělocvičny. Venkovní sada přístrojů byla umístěna na střeše přízemní budovy ve vnitrobloku školy. Čidla monitoru pro aerosol, měření teploty a vlhkosti byla umístěna cca 4 m nad zemí. V ZŠ2 byla vnitřní aparatura ve výklenku zdi naproti oknům ve výšce 3 m nad zemí a venkovní aparatura cca 15 m nad zemí na ploché střeše školy. V ZŠ3. byla vnitřní aparatura ve výklenku utěsněného okna ve výšce 3 m nad zemí a venkovní aparatura na nepoužívaném balkóně školy cca 7 m nad zemí. Impaktory se měnily každý den kolem 8. hodiny ranní (vždy před začátkem školních aktivit).

K porovnání s našimi daty byla získána data vždy z nejbližší (dle umístění školy) stanice sítě (AIM). Měřící zařízení AIM používá na všech námi využitých stanicích ke stanovení hmotnostní koncentrace jednotlivých velikostních frakcí PM metodu β -atenuace (Thermo Scientific FH 62 I-R). Pro komplexnější analýzu dynamiky aerosolu byla použita také příslušná data venkovní rychlosti proudění vzduchu z referenční stanice AIM umístěné v lokalitě Libuš.

Provoz v tělocvičně (počet vyučovacích hodin denně a počet osob přítomných na každé vyučovací hodině) byl zaznamenáván zaměstnanci školy v písemné podobě při každé hodině přímo v tělocvičně. Četnost a doba trvání aktivit byly kontrolovány jedním z autorů studie s učiteli a cvičiteli během každé měřicí kampaně. Pro každý den byl vypočten indikátor aktivit v tělocvičně jako tzv. osobo-hodina (počet žáků x počet hodin jimi strávených v tělocvičně).

Minerální složení a morfologie částic byly studovány pomocí EDS (Energy Dispersive X-ray Spectrometry) a rastrovacího elektronového mikroskopu. Aerosol byl získáván přenesením z impakčních destiček fotometrů a upraven napařením uhlíku pro EDS a pozlacením pro rastrovací elektronovou mikroskopii.

K získání dat o plicní ventilaci žáků při hodině TV jsme použili nepřímou metodu přepočtu srdeční frekvence při zátěži na hodnoty minutové plicní ventilace a celkové hodnoty plicní ventilace za měřenou dobu cvičení. Žáky jsme vybírali ze škol, kde probíhaly kampaně měření kvality ovzduší. Vzhledem k technickým a kapacitním možnostem jsme sledovali pouze žáky ze dvou následujících škol, ZŠ1 v centru města poblíž Národní třídy a ZŠ2 na okraji města na náhorní rovině poblíž obory Hvězda. Laboratorního testu se účastnilo z přihlášených 48 jen 46 žáků. Nejprve proběhlo měření zahrnující základní antropometrii a stanovení tělesného složení, pak následovalo spiroergometrické vyšetření na běhacím koberci. Po 8 minutovém rozcvičovacím zatížení, 4 minuty při rychlosti běhu 7 km/h a 4 min. při 9 km/h a nulovém sklonu běhacího pásu, po 5 min. přestávce následoval test do zjevné únavy začínající na rychlosti běhu 9 km/h a sklonu běhacího pásu 5°. Po minutě se vždy rychlost zvýšila o 1 km/h. Při vyšetření žáci dýchali do analyzátoru vzduchu Teem 100 a každých dvacet sekund byl proveden automatický záznam plicní ventilace. Srdeční frekvence byla průběžně registrována a zaznamenávána sport-testerem Polar Vantage NV.

V druhé části měření SF, při hodinách tělesné výchovy byly použity také sport-testery Polar Vantage NV. Měření byla uskutečněna současně na obou školách. Na každé škole pracoval dvoučlenný tým složený z muže a ženy. Pracovní tým zaznamenával také průběh hodiny tělesné výchovy. Z původního souboru 46 žáků jsme mohli použít pouze záznamy 32 respondentů. 18 dívek – 10 až 14 let a 14 chlapců – 10 až 13 let. K provedení výzkumu byl získán informovaný souhlas rodičů žáků, vedení školy i Etické komise FTVS UK. V rámci souhlasu rodiče potvrdili, že jejich děti netrpí žádnými respiračními nebo kardiologickými problémy a nemají žádná zdravotní omezení, a že se mohou zúčastnit zátěžového laboratorního vyšetření.

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

Průměrné koncentrace jemné frakce aerosolu $PM_{2,5}$ (částice aerosolu menší než $2,5 \mu m$) se za všechny realizované měřicí kampaně u všech tří škol lišily. Rozdíl mohl být dán nejen jejich umístěním, ale také různými meteorologickými podmínkami, za nichž probíhalo měření. Nejvyšší koncentrace byly naměřeny v centru města (ZŠ1), nižší mimo město (ZŠ3) a nejnižší na periferii (ZŠ2). U všech tří škol byla zjištěna poměrně vysoká míra korelace mezi hodnotami naměřenými na nejbližší stanici AIM a námi měřenými koncentracemi aerosolu $PM_{2,5}$ venku vedle školy. Korelace mezi hodnotami stanice AIM a vnitřním prostředím školy byla nižší, nicméně v případě školy v centru a mimo město velmi dobrá. Podobně byla zjištěna vysoká (centrum) až dobrá (mimo město) korelace mezi tělocvičnou a vnějším paralelním měřením (tab. 1).

Tabulka 1: Průměrné koncentrace (v $\mu g \cdot m^{-3}$) vně školy, uvnitř v tělocvičně, na nejbližší stanici AIM a korelace mezi měřicími místy (všechny měřicí kampaně)

| Škola | Venku | Uvnitř | AIM | korelace IN/OUT | korelace OUT/AIM | korelace AIM/IN |
|-------|-------|--------|------|--------------------|---------------------|--------------------|
| ZŠ1 | 30,1 | 24,0 | 25,5 | 0,93 | 0,95 | 0,91 |
| ZŠ2 | 14,1 | 15,0 | 19,0 | 0,59 | 0,91 | 0,49 |
| ZŠ3 | 21,2 | 23,5 | 19,7 | 0,76 | 0,89 | 0,73 |

Legenda: (IN = uvnitř tělocvičny; OUT = vně školy; AIM = měření na stanici AIM)

V konkrétním případě u školy ZŠ1, které byla v publikacích věnována zvýšená pozornost vzhledem k poloze v centru města (viz publikace 1 a 2 v příloze) byly jemné částice aerosolu $PM_{2,5}$ za 70 měřených dní v prostředí tělocvičny a na stanici AIM téměř totožné, (ZŠ1 průměr $24,0 \mu g \cdot m^{-3}$, medián $25,0 \mu g \cdot m^{-3}$, stanice AIM $25,5 \mu g \cdot m^{-3}$ respektive $23,8 \mu g \cdot m^{-3}$). Přes relativně velkou vzdálenost 2,65 km mezi stanicí AIM a školou a při rozdílné metodě získávání dat (gravimetrická metoda v tělocvičně - radiometrická metoda β -atenuace na stanici AIM), spolu hodnoty z obou míst významně korelují. Vysoká míra korelace poskytuje tři druhy informace: 1. Dokládá poměrně dobré promíchání ovzduší v centru města (námi

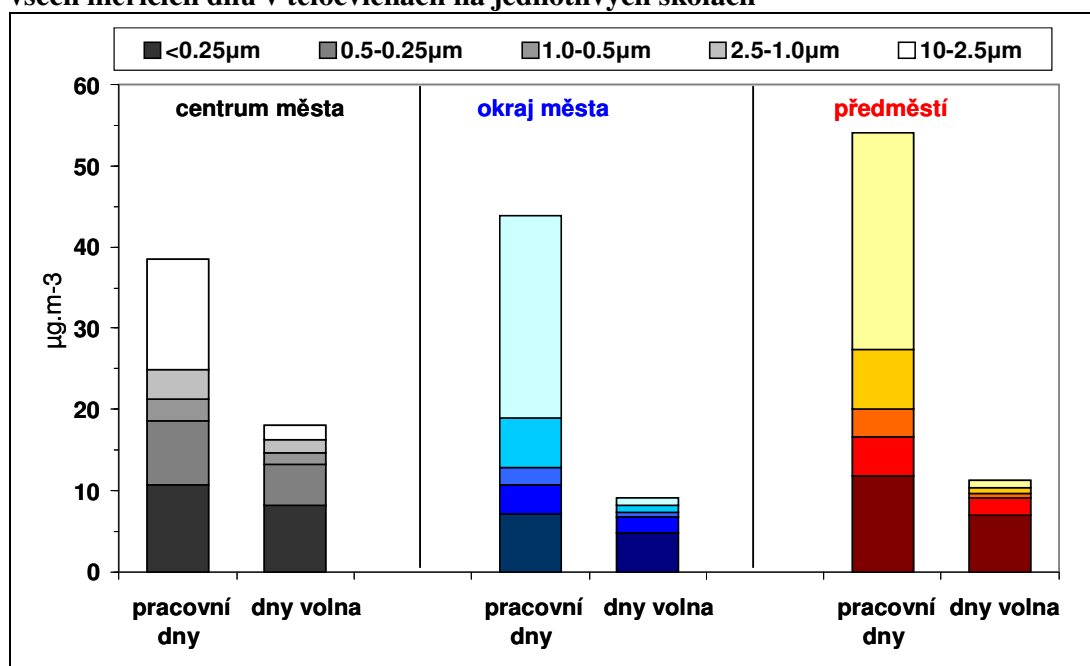
provedená měření tedy nezaznamenávají nějaké neobvyklé nebo výjimečné stavy ovzduší vázané na specifické zdroje v okolí školy); 2. Měření provedená užitými typy přístrojů odpovídají velmi dobře standardním metodám (kvalita našeho měření je velmi dobrá); 3. Na kvalitě ovzduší ve vnitřním mikroprostředí tělocvičny se do značné míry podílí infiltrace jemných frakcí aerosolu z venkovního do vnitřního prostředí. Koeficienty regresní rovnice mezi daty $PM_{2,5}$ získanými ze stanice AIM a $PM_{2,5}$ naměřenými v tělocvičně PCIS ($PCIS = 0.63 \cdot AIM + 8,08$; $R^2 = 0,83$) ukazují, že přes 80% variability vnitřních koncentrací aerosolu lze vysvětlit variabilitou dat z monitoru AIM ČHMÚ. Vyšší hodnoty jemného aerosolu, jehož infiltraci do vnitřního prostředí tělocvičen dokazuje i naše práce, jsou doloženy z různých oblastí světa v souvislosti s polohou škol poblíž frekventovaných komunikací s automobilovým provozem. Tyto studie dokládají, že velký počet dětí, je při školní docházce pravidelně vystavován zvýšeným hodnotám emisí především z dopravy (Brunekreef et al., 1997; Janssen, et al., 2001; Korenstein et al., 2002; Green et al., 2004).

Z analyzovaných dat také vyplývá prokazatelný vliv rychlosti větru na venkovní i vnitřní koncentrace aerosolu. Vzhledem k tomu, že přímý vliv rychlosti větru na vnitřní prostředí nelze logicky vysvětlit, došli jsme k závěru, že tento jev podporuje naší hypotézu o výrazném pronikání venkovního ovzduší do tělocvičny. Čím nižší rychlost větru, tím vyšší jsou venkovní a vnitřní hodnoty koncentrace aerosolu především v jeho nejmenší velikostní frakci. Korelační analýza také ukázala, že venkovní teplota ovlivňuje venkovní i vnitřní aerosol. V zimě nižší venkovní teploty zvyšují hodnoty PM a v létě je naopak snižují, což koresponduje s dobře známým faktem, že v zimě nízké teploty vytvářejí příznivé podmínky pro kumulaci aerosolu, zatímco vyšší teploty v létě podmínky pro tvorbu oxidačního smogu, jehož podstatnou částí je i PM. Konzistentnost a míra hodnoty korelačních koeficientů mezi PM a teplotou podporují význam infiltrační hypotézy. Ostatní vlivy meteorologických a mikroklimatických podmínek na hodnoty aerosolu ve vnitřním prostředí nebyly statisticky významné. Viz tab. 3, příloha 1.

Jestliže porovnáme hodnoty koncentrací v tělocvičnách mezi jednotlivými školami, můžeme z nich vyčíst také penetraci jemných frakcí venkovního aerosolu dovnitř tělocvičny. Škola v centru (ZŠ1) má i ve volných dnech vyšší hodnoty $PM_{2,5}$, což svědčí o vyšších venkovních hodnotách jemného aerosolu a pravděpodobně i o vyšší míře infiltrace aerosolu do tělocvičny. Školy na okraji města a na předměstí mají hodnoty aerosolu ve dnech, kdy se necvičilo, nižší, ale nárůst ve dnech cvičebních dokazuje vyšší míru resuspendovatelného aerosolu v tělocvičně především v jeho hrubých frakcích, ale mírně i v jemných. Markantní je to především u školy na předměstí (ZŠ3), což podporuje hypotézu o nejnižší kvalitě úklidu

v této tělocvičně ze všech sledovaných škol. Ve dnech, kdy se necvičilo, v ní byly také zjištěny vysoké hodnoty nejmenší námi měřené frakce kvazi ultrajemného aerosolu $PM_{0,25}$, srovnatelné se školou v centru. Vysvětlení je možné v kombinaci faktorů: 1. Škola měla oproti zbylým dvěma školám o třetinu více sledovaných dnů v chladném období roku nebo 2. Zvýšené koncentrace mohly být zapříčiněny aktivitou neznámého a nezaznamenaného vnitřního nebo venkovního zdroje (spaliny z kotelny nebo jiných topenišť). Z dosud nepublikovaných výsledků analýzy této frakce aerosolu vyplývá, že v příměstské škole jsou vyšší koncentrace polyaromatických uhlovodíků, což odpovídá přítomnosti vnějších spalovacích zdrojů, nejspíše lokálních topenišť (obr. 5).

Obrázek 5: Průměrné 24 hodinové hodnoty aerosolu jednotlivých velikostních frakcí ze všech měřících dnů v tělocvičnách na jednotlivých školách



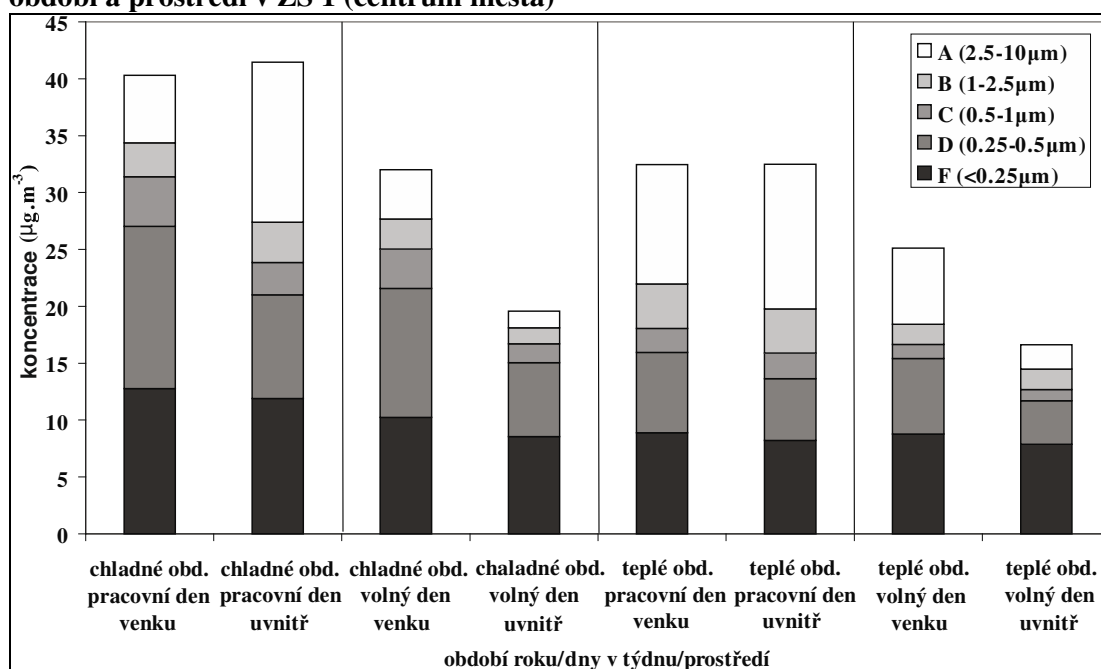
Legenda: Pracovní dny jsou dny, kdy se cvičilo. Dny volna jsou víkendy, svátky, prázdniny a dny, kdy ve škole nebyl nikdo přítomen. ZŠ1 – centrum města, ZŠ2 - okraj města, ZŠ3 - předměstí

Analýza koncentrace aerosolu podle ročního období (topná sezóna, bez topení), podle typu dne (pracovní den / den volna) a částic velikostních frakcí (A-F) ve venkovním a vnitřním prostředí ukázala, že koncentrace částic závisí nejen na přítomnosti nebo absenci žáků v tělocvičně, ale také na zmíněných faktorech, tedy na meteorologické situaci a na charakteru činnosti zdroje. V chladnějším období jsou lepší podmínky pro tvorbu a setrvání jemných frakcí aerosolu v ovzduší a také se předpokládá, že v centru města je během víkendu nižší intenzita dopravy, tedy i nižší produkce emisí jemných i hrubých částic z dopravy.

Venkovní podmínky v teplém období jsou naopak vhodnější pro tvorbu hrubších frakcí (resuspenze). Viz obr. 6.

Vyšší korelace mezi frakcemi aerosolu menšího aerodynamického průměru mezi venkovním a vnitřním prostředím dokládá, že jejich zdroj je především venku. Oproti tomu hrubá frakce A (o aerodynamickém průměru 2,5 - 10 μm), a do určité míry také frakce B (o aerodynamickém průměru 1 - 2,5 μm) již více koreluje s ukazatelem lidské činnosti (osobo-hodinami) ve vnitřním prostoru. Korelační koeficient mezi lidskou činností, vyjádřený počtem lidí cvičících za 24 hodin (osobo-hodinami) a jemnějšími frakcemi (C-F) je nižší ($r < 0,5$) a postupně se snižuje s klesajícím aerodynamickým průměrem částic. Což dokazuje nižší

Obrázek 6: Hmotnostní koncentrace v jednotlivých velikostních frakcích v různém období a prostředí v ZŠ 1 (centrum města)

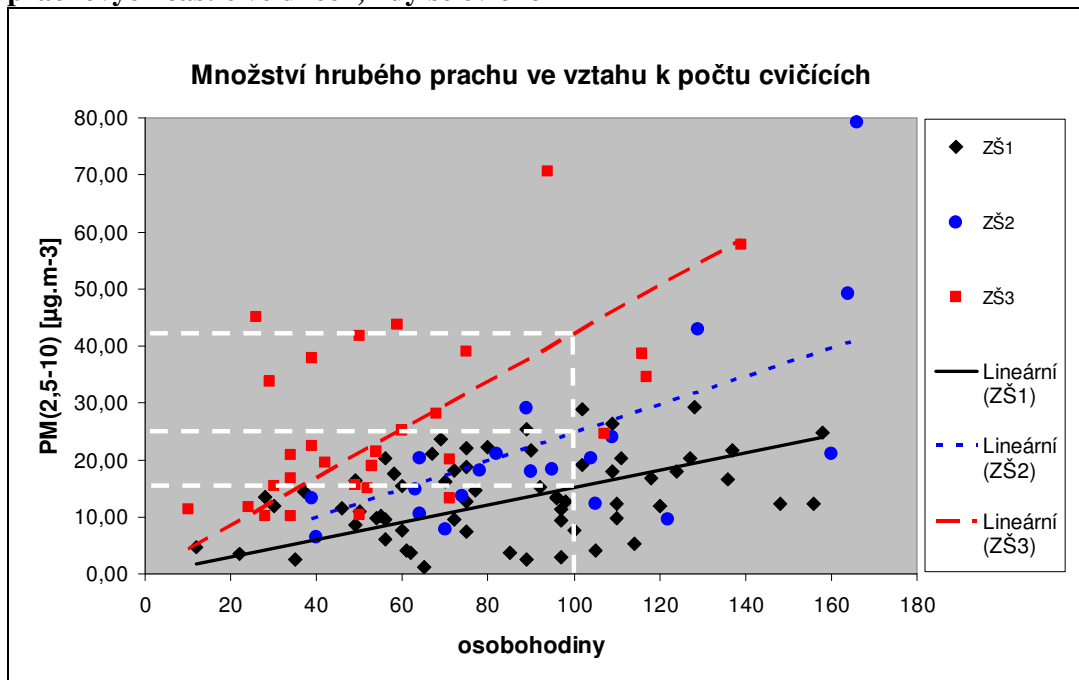


závislost jemnějších frakcí na lidské činnosti (cvičení) v tělocvičně. Viz tab. 2, příloha 1. Pro hlubší posouzení vlivu venkovního hrubého aerosolu jsme provedli ještě vícenásobnou regresní analýzu. Za první nezávislou proměnnou jsme zvolili osobo-hodinový ukazatel činnosti v tělocvičně. Za druhou nezávislou proměnnou venkovní hrubou velikostní frakci A. Model se dvěma zahrnutými nezávislými proměnnými vysvětlil 60-70% variability datového souboru a potvrdil, že hlavním ukazatelem vnitřní koncentrace hrubé složky A je počet žáků v tělocvičně. Viz tab. 3, příloha 3. Vliv venkovní složky hrubého aerosolu A byl nízký, ale statisticky významný pouze pro tělocvičnu ZŠ1 v centru města, což lze vysvětlit i vyšší mírou

větrání při cvičení v tělocvičně. Tato škola má prokazatelně nejdostupnější okna k větrání tělocvičny.

Ačkoli přítomnost lidí je logicky spojena se zvýšenými hodnotami hrubého aerosolu, podrobně se jí v tělocvičnách nikdo nevěnoval. Námi sledovaný indikátor – osobo-hodiny, umožňuje vztah kvantifikovat. Korelace mezi frakcí A o aerodynamickém průměru (2,5 až 10 μm) a osobo-hodinami cvičení v tělocvičně ($r = 0,77$) je blízká hodnotám korelace, který zjistili mezi hrubým aerosolem a posluchači v univerzitní učebně ($r = 0,68$) Braniš et al., (2005). Kvantitativně vyjádřenou míru tohoto vztahu v námi sledovaných tělocvičnách vysvětlující množství resuspendovatelného aerosolu ve vztahu k počtu cvičících lze vidět na obr. 7. Úvahy o významném vlivu kvality úklidu na resuspendovatelný aerosol potvrzuje studie Ferra et al., (2004).

Obrázek 7: Potenciál 100 žáků ve třech různých tělocvičnách k resuspenzi hrubých prachových částic ve dnech, kdy se cvičilo



Kvalitu vnitřního ovzduší škol zkoumala řada autorů (Diapouli et al., 2007; Ekmeckioglu et al., 2007; Gorner et al., 1995; Lee, Chang, 2000). Jejich výsledky znečištění PM jsou ve srovnání s našimi někdy až extrémně vysoké. Z větší části to lze přičíst použití fotometrické metody měření, která skutečné hodnoty nadhodnocuje. Z části také umístění sledovaných škol v extrémně znečištěném ovzduší velkých měst. Pro náš výzkum jsme použili referenční gravimetrickou metodu PCIS a zároveň jsme kontrolně měřili i méně

přesným fotometrem TSI DustTrak, se kterým lze měřit $PM_{2,5}$. Využili jsme tedy našeho dlouhodobého sledování a porovnali jsme hodnoty $PM_{2,5}$ naměřené gravimetrickou metodou PCIS s hodnotami $PM_{2,5}$ paralelně měřenými fotometrem TSI Dust Trak (DT). Vysoké korelace byly zjištěny mezi stejnými velikostními frakcemi venkovního a vnitřního $PM_{2,5}$ vypočítané z PCIS z frakcí B až F (0,93) a mezi 24 h průměry venkovního i vnitřního $PM_{2,5}$ naměřenými fotometry DT (0,96). Korelace mezi PCIS a DT ve 24 - h průměrech ve stejných mikroprostředích byla také velmi těsná (korelační koeficienty v pořadí 0,94 a 0,92 pro vnitřní a venkovní měření), což svědčí o velmi dobrém souladu mezi oběma metodami. Nicméně, sklon regresní křivky ukazuje, že fotometry nadhodnocují oproti PCIS hodnoty ve vnitřním i venkovním prostředí (obr. 2, příloha 2).

Hodnot naměřených současně PCIS a DT jsme využili také k odhadu reálných hodnot hrubého aerosolu v tělocvičně při cvičení. Vyšli jsme z toho, že vnitřní 24 hodinové koncentrace hrubého aerosolu vzrostly proti venkovním během pracovních dnů s průměrným poměrem 2.5-16.3 pro frakci A, respektive 1.4-4.8 pro B. V extrémních případech dosáhl poměr I (vnitřek)/ O(venek) 180 u stupně impaktoru A a 19.1 u stupně B. Přístroje PCIS umožňují měřit pouze 24 hodinové integrované hodnoty (průměry) koncentrací aerosolu. Vzhledem k rychlé depozici aerosolu, na niž můžeme usuzovat z hodnot měření fotometrem DT a hodnot zjištěných PCIS v době, kdy se necvičí, jsme skutečné hodnoty při cvičení u hrubého aerosolu frakce deponované na impaktorovém stupni A odhadli minimálně na dvojnásobek 24 hod. průměru naměřeného PCIS. S touto hodnotou pracujeme i dále při odhadu skutečné expozice žáků při hodině tělesné výchovy.

Ke kvalitativnímu vyhodnocení aerosolu jsme použili rentgenovou spektrometrii, která ukázala 6 hlavních skupin minerálů, tvořící podstatnou část resuspendovaného prachu ve vnitřním prostředí. Nejčastější byly půdní částičky s obsahem Si, Al, O a Ca. Elektronová mikroskopie prokázala, že kromě četných anorganických částic, tvoří velkou část hrubého prachu organické zbytky, jako různé typy vláken a plísň, úlomky těl roztočů a především kožní šupiny, které jsou hlavní částí organické složky prachu v tělocvičnách. Obr. 2 a 3, příloha 3. Výsledky řady prací dokumentují, že úlomky odpadlé odumřelé pokožky jsou hojné v různých vnitřních prostorech (Noble, 1975; Tham a Zuraimi, 2005), včetně škol (Wheeler et al., 2000). Titíž autoři také upozornili na skutečnost, že částičky kůže jsou dobrými nosiči životaschopných mikrobů (ve formě spor), včetně patogenních. Alexis et al. (2006) a Holcátová (2007) předpokládají u suspendovaného biologického materiálu (včetně bakterií) určitý patogenní potenciál, který může v inhalační hrubé frakci částic přítomných ve vnitřním prostředí budov nepříznivě ovlivnit imunitní odpověď u alergických, ale i u zdravých jedinců.

Při střední a vyšší intenzitě fyzické zátěže dochází k přechodu na dýchání ústy a tím ke snadnějšímu pronikání aerosolu do dýchacího ústrojí a jeho jemnější frakce až do plicních sklípků. Z toho vyplývá, že provádět opakovaně zvýšenou fyzickou aktivitu ve znečištěném ovzduší např. podél frekventovaných silnic, znamená výrazný individuální rizikový faktor onemocnění. Pro jeho stanovení jsou relevantní intenzita, délka trvání cvičení, míra znečištění prostředí a individuální vlastnosti cvičence (Kunzli, 2002). Děti jsou v tomto ohledu více ohrožené. Mají větší aktivní plochu plic ve vztahu ke své tělesné hmotnosti a rychlejší metabolismus než dospělí. To způsobuje možnost nadýchat relativně větší množství znečištěných látek než u dospělého jedince (Scarlett et al. 1996; Schwartz, 2004; Moshhammer et al., 2006). Z rozboru řady článků zaměřených na toxicitu aerosolu, kterou provedli DeKok et al. (2006) nebo Vaclavík – Bräuner et al. (2007) vyplynulo, že obecně menší částice aerosolu (PM_{10}) mají vyšší toxicitu, obsahují vyšší koncentrace extrahovaných látek a mají poměrně vysokou schopnost tvorby volných radikálů. Některé studie ale dokumentují ještě silnější nebo stejně silný krátkodobý účinek na zdraví i u hrubého aerosolu, především s rizikem pro respirační onemocnění a astma Brunekreef et al. (2005); Fox et al. (2005).

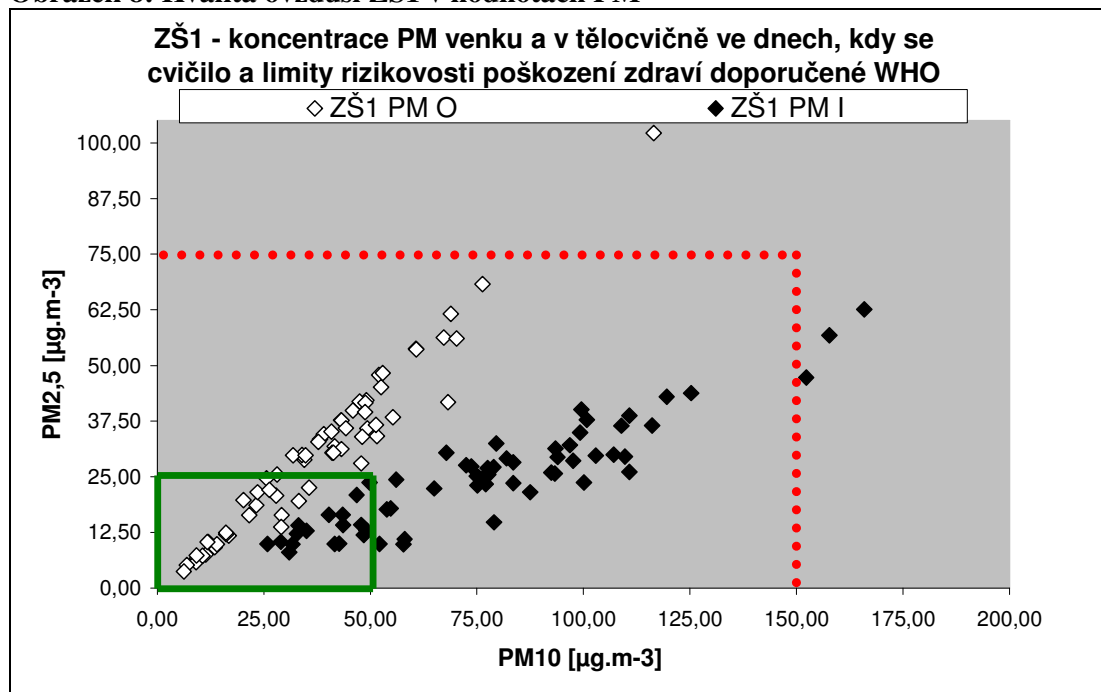
V našem experimentu s 32 dětmi jsme si vytkli za cíl odhadnout nárůst objemu ventilovaného vzduchu při hodině TV oproti klidovým hodnotám, dostupnými metodami. Každého jednotlivce jsme sledovali odděleně, ale pro účely odhadu expozice jsme použili průměr skupiny (tab. 7, příloha 4). Průměrný násobek plicní ventilace během měřeného cvičení byl vypočten u celé skupiny na hodnotu 3,8x (max. = 5,4; min. = 2,7; směrodatná odchylka 0,7). Průměrná SF skupiny za měřenou cvičební dobu byla 150,6 tepů/min. 53% žáků mělo průměrnou SF za cvičení vyšší než 150 tepů za minutu. Laboratorně naměřený průměr skupiny SF_{max} 207 tepů/min. a průměr $V_{E\ max}$ 66 l/min. Hodnoty násobku ventilace jednotlivých cvičenců za měřenou cvičební jednotku významně korelují (0,78) s jejich průměrnými hodnotami SF za cvičební jednotku. Lze říci, že průměrnou SF jednotlivce lze použít orientačně pro stanovení násobku plicní ventilace. Pro přesnější odhad touto metodou je třeba znát individuální hodnoty SF a V_E u sledovaného jedince v různých typech fyzické zátěže. Odhad násobku plicní ventilace 3,8x jsme použili také při konečném vyhodnocení expozice žáků aerosolu při hodině TV. Vezmeme-li v úvahu limity pro ochranu zdraví WHO, tak pro aerosol nerozlišují ovzduší na vnitřní i vnější (WHO, 2006). Obsáhlý dokument WHO se opírá o řadu epidemiologických studií a určuje pro ochranu veřejného zdraví limity 50 $\mu g \cdot m^{-3}$ PM_{10} a 25 $\mu g \cdot m^{-3}$ $PM_{2,5}$ ve 24 hodinovém průměru (pro naše účely jej nazveme limit WHO A) respektive 20 $\mu g \cdot m^{-3}$ PM_{10} a 10 $\mu g \cdot m^{-3}$ $PM_{2,5}$ v ročním průměru. Tyto hodnoty jsou z 95% spolehlivým ukazatelem úrovně „bezpečnosti“, pod níž nedochází k poškození

kardiopulmonárního systému a onemocnění rakovinou plic. S násobky těchto limitů se zvyšuje rizikovost zdravotního poškození. Pro trojnásobek limitu WHO A (PM_{10} $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a $PM_{2,5}$ $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) odhaduje tento dokument na základě publikovaných rizikových koeficientů z multicentrických studií a meta-analýz 5% zvýšení krátkodobé mortality (WHO, 2006). (Pro naše účely jej nazýváme limitem WHO B.) Dokument WHO konstatuje, že neexistuje žádný důkaz o rozdílu v nebezpečnosti venkovního a vnitřního aerosolu a není třeba stanovovat limit pro každé prostředí zvlášť. Oproti tomu jsou naše národní limity rozdělené a relativně komplikované. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví stanovuje limit pro vnitřní prostředí škol jako hodinový (MZ ČR, 2003). Pro $PM_{2,5}$ $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a pro PM_{10} $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což je téměř totožné s výše uvedeným limitem WHO B, který je ale 24 hodinový. U našeho limitu to vypovídá o dobře stanovené hranici vyšší rizikovosti poškození zdraví (obr. 11). Pro vnější ovzduší platí Nařízení vlády ČR č. 597/2006 sb., které pro $PM_{2,5}$ stanovuje limit $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (roční průměr), pro PM_{10} $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (24 hod. průměr) a $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (roční průměr) (Vláda ČR, 2006). Venkovní hodnoty odpovídají limitu WHO u PM_{10} . U $PM_{2,5}$ jsou také $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ale v ročním limitu. V naší legislativě je plánované snižování limitu $PM_{2,5}$ až do roku 2020.

Limit WHO A dokazuje svoji racionálnější a fundovanější konstrukci na vědeckém základě a přesto, že neuvádí hodinové, ale 24 hodinové průměry, vyjdeme při hodnocení expozice žáků aerosolu při hodině tělesné výchovy z jeho hodnot. Oporu pro tento krok můžeme najít ve velké podobnosti mezi denními a hodinovými průměry hodnot $PM_{2,5}$, které jsme naměřili v tělocvičně a venku u školy nebo získali ze stanice AIM. Jiná je situace u hrubého aerosolu, který v době cvičení v tělocvičně vykazuje i několikanásobný nárůst proti době, kdy se necvičí. Proto jsme pro posuzování expozice zvolili dvojnásobek 24 hodinového průměru PM_{10} . S tímto násobkem pracujeme v následujících grafických hodnoceních (obr. 8, 9, 10), tedy v nich nekalkulujeme s dalším násobkem způsobeným zvýšenou plicní ventilací. Použijeme-li pro hodnocení expozice limit WHO A (v obr. 8, 9, 10 - obdélník plnou čarou), zjistíme, že žák, který je v klidu (necvičí), je ve venkovním prostředí školy vystaven nadlimitní expozici v 60% (ZŠ1), 15% (ZŠ2), 28% (ZŠ3) dnů cvičení. V tělocvičně pak v 73% (ZŠ1), 90% (ZŠ2) a 100% (ZŠ3) dnů cvičení. Nejhorší podmínky pro cvičení venku má škola v centru města. Nejlepší venkovní podmínky má škola na okraji města, protože na rozdíl od školy na předměstí stojí na vysoko položené, velmi dobře provětrávané plošině (tab. 8, příloha 4). V tělocvičnách je čistota ovzduší především na školách mimo centrum významně horší. Překvapivě nejlepší kvalita ovzduší je v tělocvičně školy v centru města. Nelze to vysvětlit jinak než nejlepším stavem čistoty v této tělocvičně. Naopak škola na předměstí

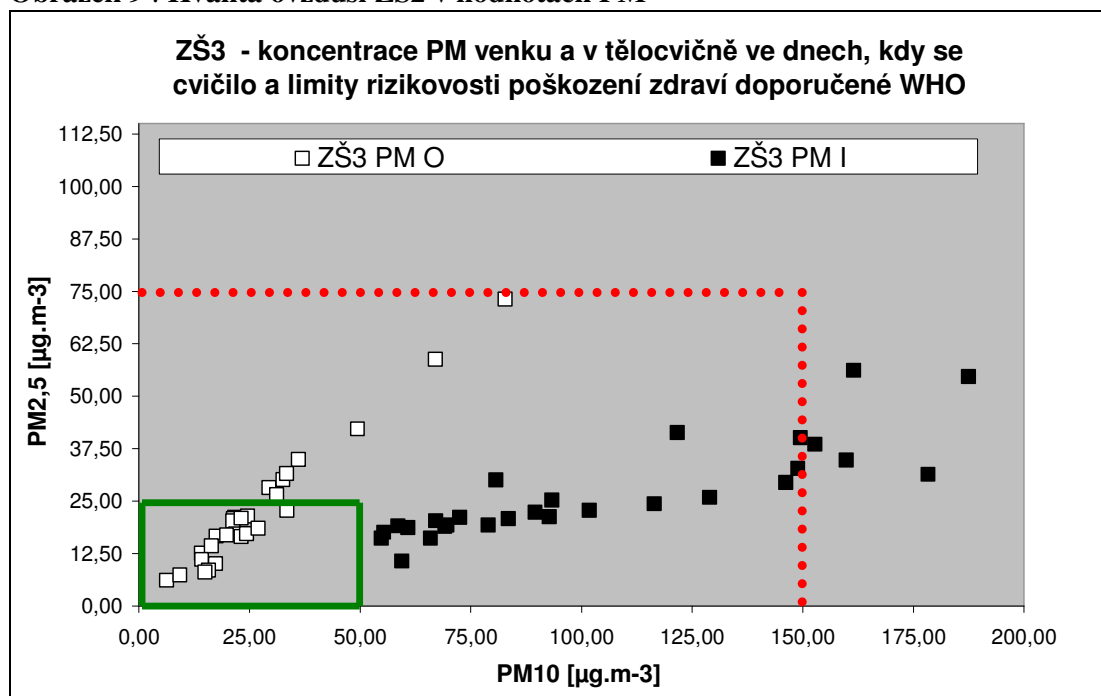
stojící v relativně klidné a dopravě vzdálené lokalitě, má tělocvičnu nejznečištěnější (obr. 8, 9, 10).

Obrázek 8: Kvalita ovzduší ZŠ1 v hodnotách PM



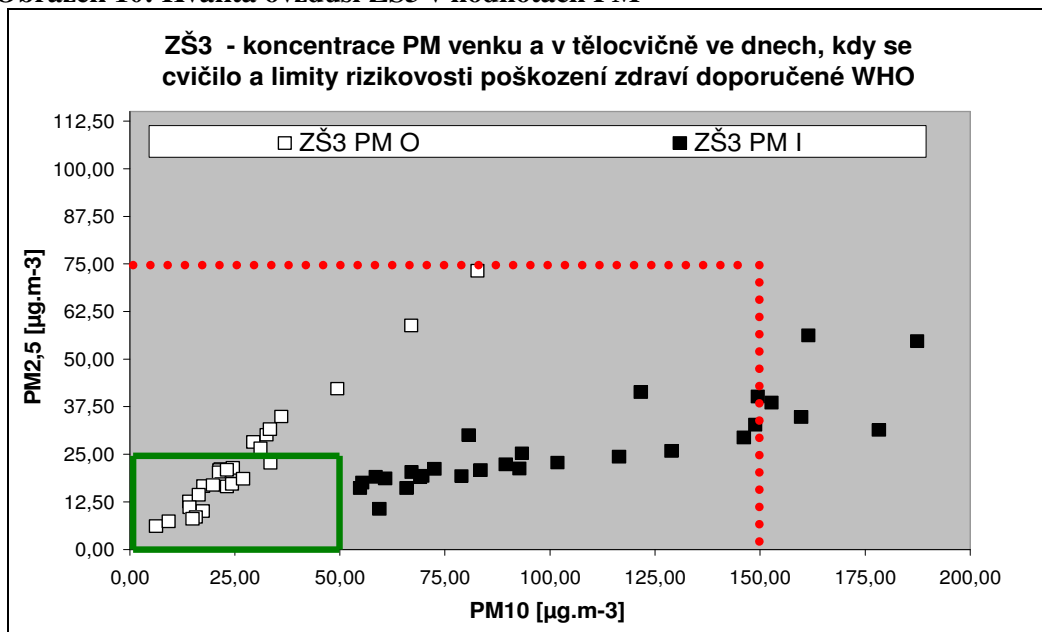
Legenda: Všechny hodnoty jsou naměřené 24 hodinové průměry mimo hodnotu koncentrace $PM_{10} I$ – v tělocvičně, která je dvojnásobkem svého 24 hodinového průměru. Obdélník plnou čarou je limitem WHO A. Linie z teček je limit WHO B. (O – venku, I – v tělocvičně).

Obrázek 9 : Kvalita ovzduší ZŠ2 v hodnotách PM



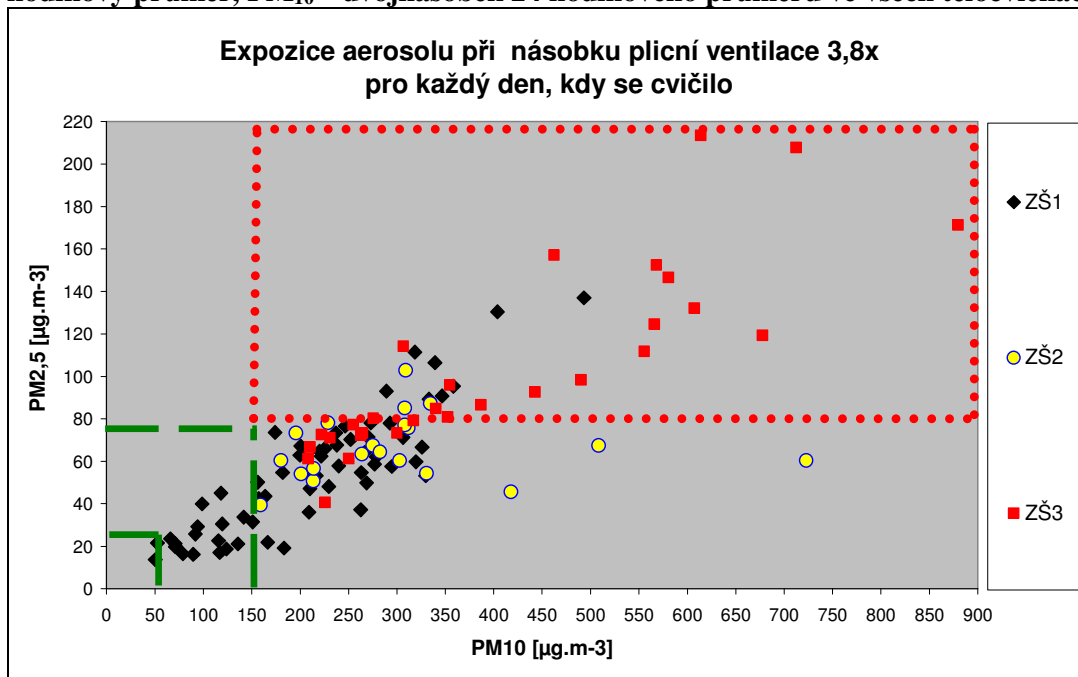
Legenda: Všechny hodnoty jsou naměřené 24 hodinové průměry mimo hodnotu koncentrace $PM_{10} I$ – v tělocvičně, která je dvojnásobkem svého 24 hodinového průměru. Obdélník plnou čarou je limitem WHO A. Linie z teček je limit WHO B. (O – venku, I – v tělocvičně).

Obrázek 10: Kvalita ovzduší ZŠ3 v hodnotách PM



Legenda: Všechny hodnoty jsou naměřené 24 hodinové průměry mimo hodnotu koncentrace $PM_{10} I$ – v tělocvičně, která je dvojnásobkem svého 24 hodinového průměru. Obdélník plnou čarou je limitem WHO A. Linie z teček je limit WHO B. (O – venku, I – v tělocvičně).

Obrázek 11: Expozice průměrného cvičence sledované skupiny při hodnotách $PM_{2,5}$ – 24 hodinový průměr, PM_{10} – dvojnásobek 24 hodinového průměru ve všech tělocvičnách.



LEGENDA: Hodnoty expozice mimo zelené ohraničení jsou nadlimitní. Plnou čarou je vymezen limit WHO A, přerušovanou limit WHO B. Ten je téměř totožný s naším národním limitem pro vnitřní prostředí. V červeném tečkovaném obdélníku jsou dny s nadlimitními hodnotami expozice jemnému i hrubému aerosolu.

Z předchozích výsledků vyplynulo, že aerosolu je ve vnitřním prostředí tělocvičen více než venku. Toto prostředí je při cvičení žáků rizikovější a zajímá nás reálná expozice aerosolu. Pokud použijeme průměrný násobek plicní ventilace námi sledované skupiny 3,8x a aplikujeme jej na všechny sledované tělocvičny, zjistíme, že limit WHO A (viz výše) nesplňuje žádný z měřených cvičebních dní, limit WHO B, který je přibližně srovnatelný s naším národním limitem, hodnotí pouze 15% dnů jako zcela vyhovujících, 76% dnů splňuje limit pouze pro jemný aerosol a 24% dnů nesplňuje žádný z limitů (obr. 11).

5 ZÁVĚR

V Praze, a velmi pravděpodobně i v jiných městech, je na řadě míst koncentrace aerosolu ve školních tělocvičnách vysoká. Týká se to především zvýšené koncentrace hrubých částic v době, kdy se cvičí. Ale i jemný aerosol, především v místech silných a četných zdrojů nebo za nepříznivých klimatických podmínek, může překračovat limity pro ochranu zdraví. Velikost expozice a závažnost negativního účinku na zdraví a celkovou pohodu cvičenců stoupá s narůstající plicní ventilací při tělesné zátěži, a to i několikanásobně. Učitelé připravující výuku by měli podle podmínek kvality venkovního a vnitřního ovzduší a dalších důležitých faktorů (meteorologických, mikroklimatických, pedagogicko-didaktických), rozhodnout, kde a jak, případně jestli vůbec, uskutečňovat hodinu tělesné výchovy. Jak dokazuje naše studie, vyžaduje péče o čistotu prostředí v tělocvičnách (pravděpodobně nejen v oblasti aerosolu) vyšší a racionálnější standardy, než v běžných školních třídách. Případná péče by měla spočívat v podrobné kontrole celého komplexu prostředí tělocvičny ze strany učitelů a vedení školy, a jejich reakce na skutečné každodenní podmínky. Při našich dlouhodobých sledováních se ukázal jako jeden ze závažných faktorů také úklid. I povrchní prohlídka tělocvičen odhalila neuklizená zákoutí s nánosy prachu, který je velmi snadno pohybem lidí, případně sportovním nářadím a míči resuspendován.

Kvalita života je podmíněna zdravím a to je úzce spojeno také s pravidelnou a přiměřenou fyzickou aktivitou ve zdravém prostředí. Naše studie se věnovala především aerosolu ve školních tělocvičnách. Výsledky dokázaly, že podmínky v nich především v topném období roku jsou nad limity pro ochranu zdraví. Pravděpodobně je tomu stejně ve většině školních tělocvičen v Praze a celé republice. Více sledované venkovní ovzduší má často souběžně lepší kvalitu než ovzduší v tělocvičně. Proto je třeba věnovat více pozornosti reálným podmínkám tělocvičen a hledat řešení, která by činila jejich prostředí kvalitativně odpovídající významu tělesné výchovy ve zdravém fyzickém a duševním vývoji dětí.

6 POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

- ALEXIS, N. E., LAY J. C., ZEMAN, K., BENNETT, W. E., PEDEN, D. B., SOUKUP, J. M., DEVLIN, R. B., BECKER, S. Biological material on inhaled coarse fraction particulate matter activates phagocytes in vivo in healthy volunteers. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2006, 117(6), 1396-1403.
- ANDERSEN, L. B. et al. Pokyny EU pro fyzickou aktivitu. Doporučená politická opatření na podporu zdraví upevňujících fyzických aktivit. [online] *Brusel: EU, 2008*. [cit. 21. 4. 2012]. Dostupné z:
<http://ec.europa.eu/sport/library/documents/c1/pa_guidelines_4th_consolidated_draft_cs.pdf
- BRANIŠ, M., ŘEZÁČOVÁ, P., DOMASOVÁ, M. The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentration of PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ in a classroom. *Environmental Research*. 2005, 99(2), 143–149.
- BRUNEKREEF, B. N., JANSSEN, A. H., DE HARTOG, J., HARSSSEMA, H., KNAPE, M., VAN VLIET, P. Air pollution from traffic and lung function in children living near motorways. *Epidemiology*. 1997, 8, 298–303.
- BUNC, V. Zdravotně orientovaná zdatnost a možnosti její kultivace na základní škole. *Tělesná výchova a sport mládeže*. 1998, 4, 2-10.
- DAIGLE, C. C., CHALUPA, D. C., GIBB, F. R., FRAMPTON, M. W., MORROW, P. E., OBERDORSTER, G. et al. Ultrafine particle deposition in humans during rest and exercise. *Inhalation Toxicology*. 2003, 15 (6), 539–552.
- DIAPOULI, E., CHALOULAKOU, A., SPYRELLIS, N. Indoor and Outdoor Particulate Matter Concentrations at Schools in the Athens Area. *Indoor and Built Environment*. 2007, 16, 55-61.
- DE KOK, T. M. C. M., DRIECE, H. A. L., HOGERVORST, J. G. F., BRIEDE, J. J. Toxicological assessment of ambient and traffic-related particulate matter: A review of recent studies. *Mutation Research*. 2006, 613, 103–122.
- EKMEKCIOGLU D., KESKIN, S. S. Characterizaion of indoor air particulate matter in selected elementary schools in Istanbul Turkey. *Indoor and Built Environment*. 2007, 16(2), 169–176.
- FAIRCLOUGH, S., STRATTON, G. Physical education makes you fit and healthy'. Physical education's contribution to young people's physical activity levels. *Health and Education Research*. 2005, 20(1), 14-23.
- FERRO, A. R., KOPPERUD, R. J., HILDEMAN, L. M. Source strengths for indoor human activities that resuspend particulate matter. *Environmental Science and Technology*. 2004, 38(6), 1759–1764.
- FOX, A., HARLEY, W., FEIGLEY, C., SALZBERG, D., TOOLE, C., SEBASTIAN, A., LARSSON, L. Large particles are responsible for elevated bacterial marker levels in school air upon occupation. *Journal of Environmental Monitoring*. 2005, 7, 450 – 456.
- FROMME, H., TWARDELLA, D., DIETRICH, S., HEITMANN, D., SCHIERL, R., LIEBL, B., RUDEN, H. Particulate matter in the indoor air of classrooms - exploratory results from Munich and surrounding area. *Atmospheric Environment*. 2007, 41, 854–866.
- GAUDERMAN, W. J., AVOL, E., GILLILAND, F., VORA, H., THOMAS D., BERHANE K. et al. The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *New England Journal of Medicine*. 2004, 351 (11), 1057–1067.
- GORNER, P., BEMER, D. FABRIES, J. F. Photometer measurement of polydisperse aerosol. *Journal of Aerosol Science*. 1995, 26, 1281–1302.

- GOYAL, R. L., KHARE, M. Indoor-outdoor concentrations of RSPM in classroom of naturally ventilated school building near urban traffic roadway. *Atmospheric Environment*. 2009, 43, 6026–6038.
- GREEN, R. S., SMORODINSKY, S., KIM, J. J., MCLAUGHLIN, R., OSTRO, B. Proximity of California public schools to busy roads. *Environmental Health Perspectives*. 2004, 112, 61–66.
- HELLER, J. Accuracy of the assessment of ventilation from the heart rate during physical activity in children. *Physiological Research*. 1993, 42, 4, 4-8.
- HELLER, J. Funkční a energetická náročnost cvičebních hodin ve školní tělesné výchově. Praha, 1980. 196 s. Kandidátská disertační práce na Univerzitě Karlově, FVL UK-UK FTVS.
- CHALUPA, D. C., MORROW, P. E., OBERDORSTER, G., UTELL M. J. , FRAMPTON, M. W. Ultrafine particle deposition in subjects with asthma. *Environmental Health Perspective*. 2004, 112 (8), 879–882.
- HOLCÁTOVÁ, I. *Session 4 Infectious diseases. Transmitted infectious diseases in indoor environment*. EnVIE Conference on Indoor Air Quality And Health for EU Policy, Helsinki, Finland, 12-13 June, 2007. [online]. [cit. 2012-03-03]. Dostupné z: http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive%5CEnVIE%5CHolcatova.pdf
- JANSSEN, N. A. H., VAN VLIET, P. H. N., AARTS, H., ARSSEMA, H., BRUNEKREEF, B. Assessment of exposure to traffic related air pollution of children attending schools near motorways. *Atmospheric Environment*. 2001, 35, 3875–3884.
- KORENSTEIN, S. An exposure assessment of PM₁₀ from major highway interchange: are children in nearby schools at risk? *Journal of Environmental Health*. 2002, 65(2), 9–17.
- KURUVILLA, J., KARNAE, S., CRIST, K., MYOUNGWO, K., KULKARMI, A. Analysis of trace elements and ions in ambient fine particulate matter at three elementary schools in Ohio. *Journal of the Air and Waste Management Association*. 2007, 57(4), 394–406.
- KUNZLI, N. The public health relevance of air pollution abatement. *European Respiratory Journal*. 2002, 20, 198–209.
- LEE, S. C., CHANG, M. Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong *Chemosphere*. 2000, 41, 109–113.
- MÁČEK, V, MÁČKOVÁ, J. Platí ještě dnes hodnoty získané v Mezinárodním biologickém programu v letech 1968 až 1974? *Medicina Sportiva Bohemica & Slovaca*, 1996, 5(1), 1-3.
- MC COOL, F. D., PAEK, D. Measurements of ventilation in freely ranging subjects. *Research Reports of the Health Effects Institute*. 1993, (59), 1-17.
- MATOULEK, M., SVAČINA, Š, LAJKA, J. Výskyt obezity a jejích komplikací v České republice. *Vnitřní Lékařství*, 2010, 56(10), 1019-1027.
- MERMIER, C. M., SAMET, J. M., LAMBERT, W. E., CHICK, T.W. Assessment of heart rate as a predictor of ventilation. *Research Reports of the Health Effects Institute*. 1993, (59), 19-55.
- MOSHAMMER, H., BARTONOVA, A., HANKE, W., VAN DEN HAZEL, P., KOPKE, J. G., KRÄMER, U. et al. Air pollution: a threat to the health of our children, *Acta Paediatrica*. 2006, 95(453), 93–105.
- MŠMT ČR. Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR . Standard základního vzdělávání [online]. c1995, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: http://aplikace.msmt.cz/HTM/Standard_ZV.htm
- MZ ČR Ministerstvo zdravotnictví ČR. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb [online]. c2003, [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-6-2003-sb-ktou>

- se-stanovi-hygienicke-limity-chemickych-fyzikalnich-a-biologickych-ukazatelu-pro-vnitřní-prostředí-pobytových-místností-některých-staveb
- NOBLE, W. C. Dispersal of skin microorganisms. *British. Journal of Dermatology*. 1975, 93, 477-485..
- POPE III, C. A., DOCKERY, D. W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the Air Waste Management Association*. 2006, 56, 709–742.
- POUPARD, O., BLONDEAU, P., IORDACHE, V., ALLARD, F. Statistical analysis of parameters influencing the relationship between outdoor and indoor air quality in schools. *Atmospheric Environment*. 2005, 39, 2071–2080.
- RYCHTECKÝ, A. 2010 *Pohybová aktivita mladých lidí ČR* [online]. Státní zdravotní ústav [citováno 30. 3. 2012]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/czpz/zivotni_styl/kampane/seminar_8sept10/Pohybovaaktivita_mladych_lidi_v_CR.pdf
- SAMET, J. M., LAMBERT, W. E., JAMES, D. S., MERMIER, C. M., CHICK, T. W. Assessment of heart rate as a predictor of ventilation. *Research Reports of the Health Effects Institute*. 1993, May;(59), 57-69.
- SCARLETT, J. F., ABBOTT, K. J., PEACOCK, J. L., STRACHAN D. P., ANDERSON, H. R. Acute effects of summer air pollution on respiratory function in primary school children in southern England. *Thorax*. 1996, 51 (11), 1109–1114.
- SELIGER, V., BARTŮŇEK, Z. *Mean values of various indices of physical fitness in the investigation of Czechoslovak population aged 12-55 years*. Prague: ČSTV, 1976.
- SMEDJE, G., NORBACK, D. Incidence of asthma diagnosis and self-reported allergy in relation to the school environment. A four-year follow-up study in schoolchildren. *International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*. 2001, 5(11), 1059-1066.
- STRATTON, G. Children's heart-rates during British physical education lessons. *Journal of Teaching in Physical Education*. 1997, 16, 357-367.
- SELIGER, V., HELLER, J., ZELENKA, V., SOBOLOVÁ, V., PAUER, M., BARTŮŇEK, Z., BARTŮŇKOVÁ, S. Functional demands of physical education lessons. In: *Berg, K. and Eriksson, B. O., Children and Exercise IX*. University Park Press Baltimore, 1980, 10, 175–182.
- SCHWARTZ, J. Air pollution and children's health. *Pediatrics*. 2004, 113, 1037–1043.
- THAM, K.W., ZURAIMI, M.S. Size relationships between airborne viable bacteria and particles in a controlled indoor environment study. *Indoor air*. 2005, 15(9), 48-57.
- ŠAMÁNEK M., URBANOVÁ Z. Výskyt nadváhy a obezity u 7427 českých dětí vyšetřených v roce 2006. *Česko-slovenská pediatrie*. 2008, 63, 3, 120-125.
- TORTOLERO, S., BARTHOLOMEW L. K., TYRREL, S., ABRAMSON, S. L., SOCKRIDER, M. M., MARKHAM, C. M., WHITEHEAD, L. W., PARCEL, G. S. Environmental irritants in schools: A focus on asthma. *Journal of School Health*. 2002, 72(1), 33-38.
- VACLAVIK-BRÄUNER, E., FORCHHAMMER, L., MØLLER, P., SIMONSEN, J., GLASIUS M., WÅHLIN P. et al. Exposure to ultrafine particles from ambient air and oxidative stress-induced cDNA damage. *Environmental Health Perspectives*. 2007, 115(8), 1171–1182.
- VAN DIJKEN, F., VAN BRONSWIJK, J. E. M. H., SUNDELL, J. Indoor environment and pupils' health in primary schools. *Building Research Information*. 2006, 34(5), 437–446.
- VLÁDA ČR. *Nařízení vlády ČR č. 597/2006 Sb. o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší*: č. 188/2006 Sbírky zákonů na straně 7945
- WANG, G. Y., PEREIRA, B., MOTA, J. Indoor physical education measured by heart rate monitor. A case study in Portugal. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2005, 45(2), 171-7.

- WHEELER, A. J., WILLIAMS, I., BEAUMONT, R. A., HAMILTON, R. S. Characterization of Particulate matter sampled during a study of children's personal exposure to airborne particulate matter in a UK urban environment. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2000, 65, 67-77.
- WHO. World Health Organization. *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide Global update 2005 Summary of risk assessment* [online]. c2006, [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf
- WHO. World Health Organization. Regional Office for Europe. *The Children's Environment and Health Action Plan for Europe*. [online]. c2006, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/78639/E83338.pdf
- WILSON, W. E., SUH, H. H. Fine particles and coarse particles: Concentration relationships relevant to epidemiological studies. *Journal of the Air and Waste Management Association*. 1997, 47, 1238-1249.